Analyse quantifiée de la marche : mode d'emploi

Rev Med Suisse 2015 ; 11 : 1916-20

S. Armand
A. Bonnefoy-Mazure
P. Hoffmeyer
G. de Coulon

L'analyse quantifiée de la marche est devenue un examen médical indispensable pour la prise en charge des patients présentant des troubles complexes de la marche. Comme son nom l'indique, le but de cet examen est de mesurer, en laboratoire, la marche d'un patient. Ces mesures concernent tout d'abord le mouvement en trois dimensions des articulations et des segments corporels, ainsi que les forces qui s'appliquent à ces articulations et enfin l'activité électromyographique des muscles. L'ensemble de ces données quantitatives permet d'identifier les défauts de marche et de déduire les causes probables de ces défauts grâce aux données cliniques disponibles à chaque patient.

Clinical gait analysis : user guide
Clinical gait analysis has become an indispensable medical examination for the management of patients with complex gait disorders. As its name suggests, the purpose of this examination is to assess patients whilst they are walking in a laboratory setting. Measurements include : 3 dimensional joint motion, forces applied to joints, and electromyographic muscle activity. This quantitative data allows identification of walking deviations and to deduce the likely causes of these deviations thanks to the clinical data available for each patient.

LA MARCHE

La marche est le mode de locomotion le plus naturel chez l'homme, permettant de se déplacer de manière autonome et économe. Cependant, c'est une activité complexe qui demande un apprentissage de plusieurs années avant d'arriver à maturation.

Définition de la marche

La marche peut être définie comme un déplacement consistant en une translation de l'ensemble du corps, consécutive à des mouvements de rotations.[1] Elle utilise une répétition de mouvements des segments corporels pour déplacer le corps vers l'avant tout en maintenant l'équilibre.

Cycle de marche

Cette activité motrice répétitive permet un découpage en cycle. Ainsi, la marche peut être découpée selon le cycle de marche commençant généralement par le contact d'un pied au sol et finissant par le contact subséquent de ce même pied. Au cours de ce cycle de marche, le membre inférieur considéré alterne une phase d'appui (pied en contact avec le sol) et une phase oscillante (pied sans contact au sol). Un cycle de marche est ainsi composé d'une phase d'appui (environ 60% du cycle) et d'une phase oscillante (environ 40% du cycle) des membres inférieurs droit et gauche (figure 1).

Il est possible de faire un sous-découpage en fonction de la phase d'appui et oscillante des deux membres inférieurs. Lorsque les deux membres sont en phase d'appui, on parle d'appui bipodal (ou double appui) et lorsque l'un des deux membres est en phase d'appui pendant que l'autre est en phase oscillante, on parle d'appui unipodal (ou simple appui).

Ce cycle de marche découpé en diverses phases sert de référentiel dans les études ou les examens analysant la marche. Les graphiques servant à son interprétation sont en général normalisés par rapport à la durée de ce cycle de marche et les différentes phases sont exprimées en pourcentage de celui-ci.

Marche pathologique

La marche nécessite l'intégrité du système neuro-musculo-squelettique. Si un ou plusieurs éléments sont altérés, la marche ne pourra pas être effectuée ou

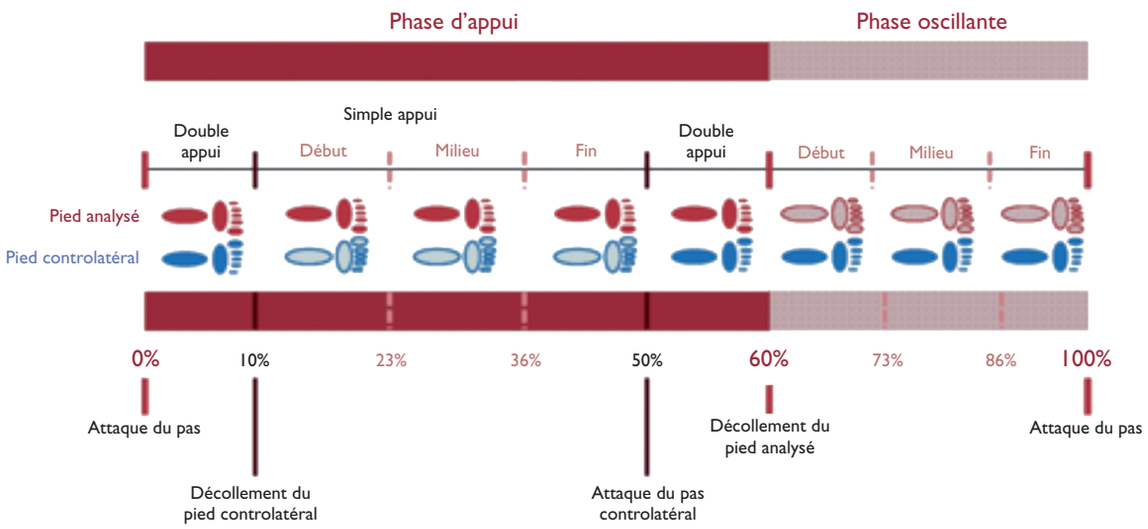


Figure 1. Cycle de marche pour le membre inférieur gauche

sera effectuée avec difficulté ou avec douleur. Le rôle du clinicien sera alors, selon l'atteinte, de permettre de restaurer ou de sauvegarder une marche efficiente et sans douleur. Avant d'établir la stratégie thérapeutique, le clinicien devra comprendre l'origine des troubles de la marche. Pour les troubles complexes de la marche, le clinicien pourra demander un examen complémentaire de la marche appelé analyse quantifiée de la marche (AQM) ou *Clinical Gait Analysis* en anglais.

EXAMEN DE MARCHE

L'AQM est un examen médical qui consiste à mesurer la marche d'un patient pour en identifier les défauts et en déduire les causes. Le but principal de l'AQM est de caractériser et de comprendre les défauts de marche d'un patient pour orienter le choix thérapeutique. Les buts secondaires peuvent être d'évaluer l'effet d'un traitement ou encore de suivre l'évolution de la marche d'un patient.

Principe et déroulement d'un examen

Les patients sont adressés aux laboratoires d'analyse du mouvement (appelés aussi laboratoire de la marche, plateforme d'évaluation du mouvement ou encore laboratoire de cinésiologie) sur prescription médicale qui précisera l'anamnèse, le but de l'examen, les éléments à investiguer et parfois les solutions thérapeutiques envisagées. Cet examen est généralement réalisé en deux parties: un examen clinique et un enregistrement de la marche.

L'examen clinique consiste à mesurer sur une table d'examens, de façon standardisée, l'anthropométrie, les amplitudes articulaires, la force musculaire et la spasticité des membres inférieurs. Les données de cet examen serviront à interpréter les troubles de la marche objectivés par l'enregistrement de la marche.

L'enregistrement de la marche consiste généralement à réaliser un enregistrement vidéo, cinématique, cinétique et électromyographique avec le matériel respectif suivant: caméras numériques, système opto-électronique, plateforme de forces et système électromyographique (figure 2).[2] Pour cet enregistrement, le patient est équipé de marqueurs réfléchissants et d'électrodes électromyographiques. Les marqueurs réfléchissants sont positionnés sur les points anatomiques définis par un modèle biomécanique. Ils serviront à mesurer les mouvements segmentaires et articulaires en trois dimensions (cinématique). Les électrodes électromyographiques sont positionnées en respectant les recommandations de la SENIAM (www.seniam.org/).[3] La plupart des laboratoires travaillent avec des électrodes de surface, mais pour enregistrer certains muscles profonds, des électrodes internes peuvent également être utilisées. Ces électrodes

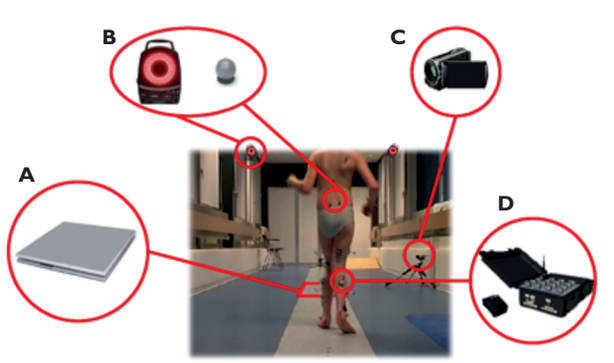


Figure 2. Matériels généralement utilisés pour réaliser une analyse quantifiée de la marche

A. Plate-forme de force incorporée dans le sol; **B.** Système de caméras opto-électroniques et marqueurs réfléchissants; **C.** Caméra numérique vidéo; **D.** Système d'électromyographie de surface.

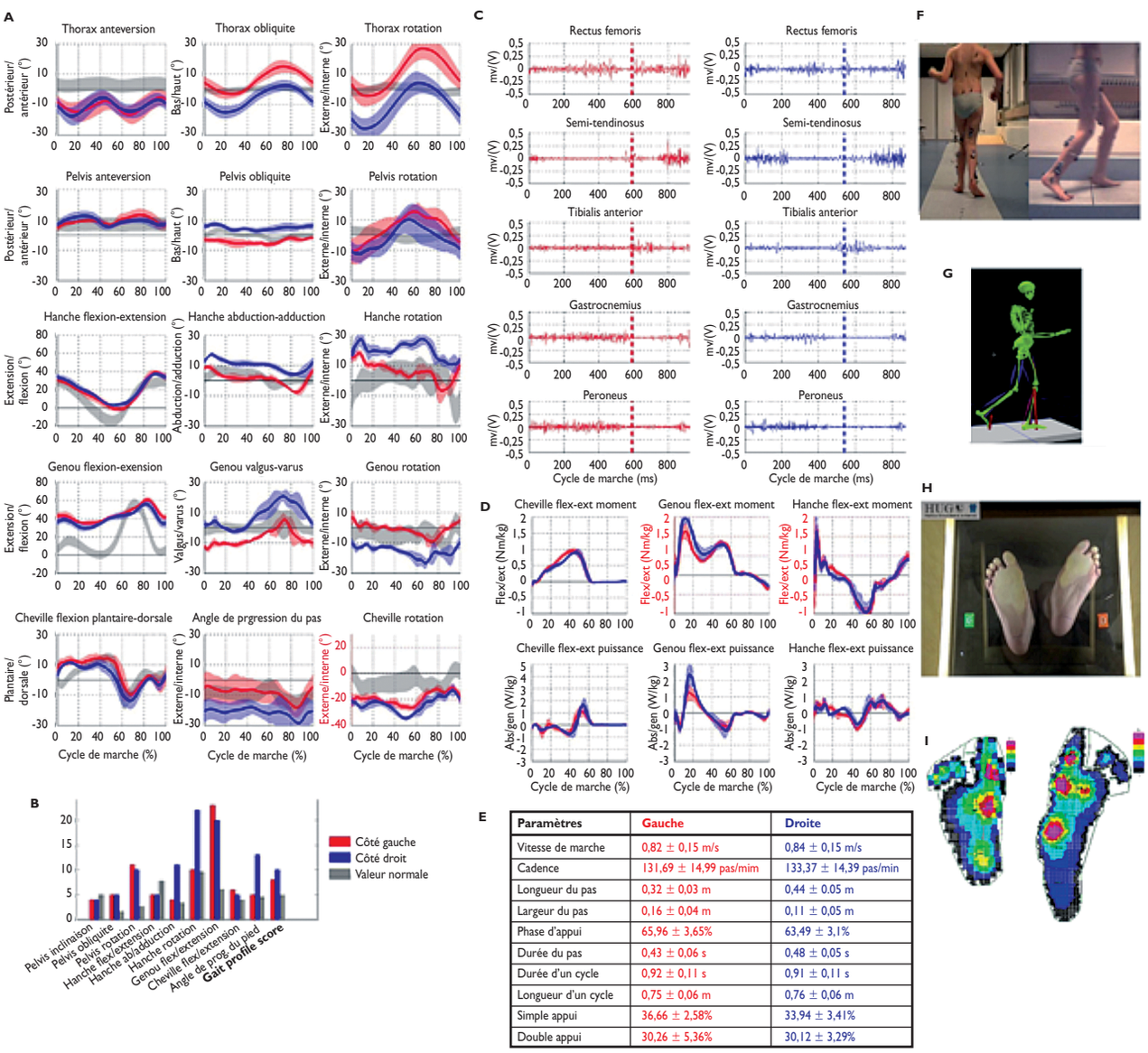
serviront à l'enregistrement de l'activité musculaire des principaux muscles des membres inférieurs.

Après avoir vérifié la position des marqueurs et la qualité du signal électromyographique, il est demandé au patient de marcher à une vitesse spontanée sur un chemin de marche d'environ dix mètres. Ce chemin est instrumenté avec des plateformes de force intégrées et dissimulées dans le sol pour recueillir les données en lien avec les forces (cinétique). Selon les besoins de l'examen et les capacités du patient, plusieurs allers-retours seront réalisés et enregistrés. L'examen sera terminé quand l'évaluateur jugera avoir un nombre de cycles de marche suffisant afin de représenter la marche du patient.

En plus, lors de cet examen, certains laboratoires proposent la quantification des pressions plantaires et/ou de la dépense énergétique.[4]

Données et interprétation

Ce matériel permet de recueillir une quantité importante de données qui sont essentielles pour l'analyse de la marche des patients. Une fois que l'examen est réalisé, les données sont traitées, vérifiées et mises dans un rapport qui servira à l'interprétation des troubles de la marche (figure 3). Les données quantitatives de la marche du patient sont présentées sous forme de graphiques et comparées aux données de sujets asymptomatiques pour identifier les



Paramètres	Gauche	Droite
Vitesse de marche	0,82 ± 0,15 m/s	0,84 ± 0,15 m/s
Cadence	131,69 ± 14,99 pas/mim	133,37 ± 14,39 pas/min
Longueur du pas	0,32 ± 0,03 m	0,44 ± 0,05 m
Largeur du pas	0,16 ± 0,04 m	0,11 ± 0,05 m
Phase d'appui	65,96 ± 3,65%	63,49 ± 3,1%
Durée du pas	0,43 ± 0,06 s	0,48 ± 0,05 s
Durée d'un cycle	0,92 ± 0,11 s	0,91 ± 0,11 s
Longueur d'un cycle	0,75 ± 0,06 m	0,76 ± 0,06 m
Simple appui	36,66 ± 2,58%	33,94 ± 3,41%
Double appui	30,26 ± 5,36%	30,12 ± 3,29%

Figure 3. Différents éléments généralement présents dans un rapport d'analyse quantifiée de la marche

A. Cinématique; **B.** Scores définissant le degré d'atteinte global et à chaque articulation; **C.** Electromyographie; **D.** Cinétique; **E.** Paramètres spatio-temporels; **F.** Vidéos de face et de profil; **G.** Reconstruction 3D; **H.** Podoscope statique; **I.** Pressions plantaires pendant la marche.
Gen: génération; Abs: absorption; Ext: extenseur; Prog.: progression; Flex: fléchisseur.

défauts de marche. Ces données sont de différentes natures.

Les données spatio-temporelles sont liées aux caractéristiques du cycle de marche d'un patient et donnent une idée générale de sa marche. Les paramètres globaux de la marche sont la vitesse, la cadence, la longueur et la largeur du pas. Les paramètres spécifiques au cycle de marche sont les durées et les pourcentages relatifs à ce cycle.

Les données cinématiques correspondent à la mesure dans les trois plans de l'espace des variations angulaires au niveau des différentes articulations ou segments corporels concernés. Ces données permettent d'identifier les défauts de marche pour chaque articulation/segment, dans chaque plan et à chaque instant du cycle de marche.

Les données cinétiques correspondent à l'obtention des forces, des moments et des puissances intersegmentaires mises en jeu pour réaliser le mouvement observé.

Les données électromyographiques indiquent les périodes et l'intensité de contraction des muscles. Elles permettent d'identifier les périodes anormales de contraction, des cocontractions ou encore une activité spastique.

Les pressions plantaires donnent des indications sur la façon dont le patient positionne son pied sur le sol au cours de la phase d'appui (déroulement du centre de pression), ainsi que la répartition des pressions plantaires sous le pied.

La mesure de la consommation d'oxygène renseigne sur l'énergie nécessaire au patient pour marcher.

Ainsi, l'ensemble de ces données est utilisé pour interpréter la marche d'un patient. La déduction des causes probables de ces défauts est réalisée en mettant en lien les différentes données du mouvement entres elles ainsi que les données médicales : examen clinique, anamnèse, imagerie et examens complémentaires (figure 4).[5] Pour chaque défaut de marche, il est primordial de comprendre sa cause et de pouvoir distinguer si ce défaut est une compensation ou un défaut à traiter.[4] Une erreur lors de l'interprétation peut entraîner une erreur dans le choix du traitement et donc détériorer la marche d'un patient.[6]

Pour réaliser et interpréter les AQM, une équipe multidisciplinaire (médecins, biomécaniciens, physiothérapeutes) formée à l'analyse clinique de la marche est nécessaire. La bonne connaissance des ouvrages de références[4,7-11] et la mise à jour régulière à partir de la littérature et des réunions scientifiques (SOFAMEA – www.sofamea.org, ESMAC – www.esmac.org, GCMAS – www.gcmas.org) sont indispensables pour obtenir une interprétation fine des altérations de la marche. Le succès de l'interprétation dépend fortement de l'expérience de cette équipe, qui devra incorporer toute la complexité du mouvement humain et de ces altérations.

Intérêt clinique de l'examen de marche

Une grande variété de déviations de la marche peut être observée chez les patients par rapport à une marche normale. A partir de ces défauts identifiés, il est important de faire la distinction entre les défauts primaires (qui sont une conséquence directe des déficits sous-jacents à la pathologie) et les stratégies compensatoires (qui sont mises en place pour compenser les défauts primaires). Seuls les déficits primaires seront la cible des traitements. Les stratégies compensatoires, quant à elles, devraient disparaître une fois les défauts primaires traités. Ainsi, la compréhension des déviations de la marche n'est pas évidente en raison de la difficulté à faire la distinction entre défauts primaires et

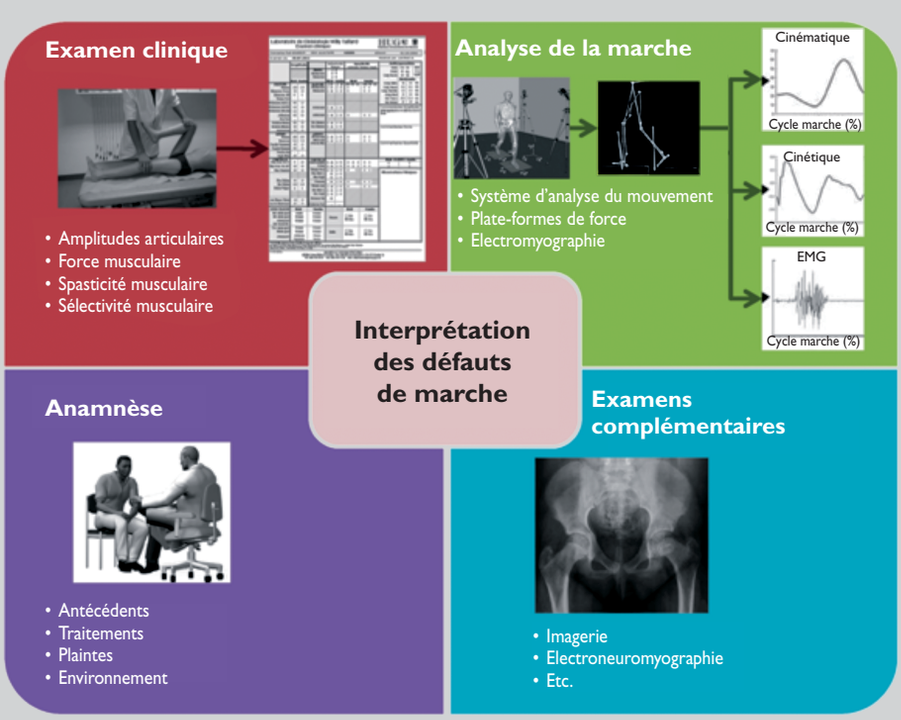


Figure 4. Processus d'interprétation des défauts de marche pour un patient

compensations, de la grande complexité du système neuromusculo-squelettique humain et de la nature dynamique de la marche. Cependant, la compréhension des troubles de la marche est d'une importance primordiale pour optimiser les stratégies de traitement pour les patients.

De nombreuses études ont montré les bénéfices de l'utilisation de l'AQM afin d'optimiser les stratégies thérapeutiques dans les troubles complexes de la marche. Entre autres, il a été montré que l'AQM permet une évaluation plus précise des défauts de marche comparée à une analyse vidéo seule, une meilleure définition des traitements,[12-14] qui a pour conséquence une meilleure efficacité du traitement[15] et, au final, une amélioration de la qualité de vie des patients et une diminution des coûts de la santé.

En plus de sa pertinence clinique, l'AQM a un rôle éducatif. Son utilisation offre l'opportunité d'apprendre à analyser les troubles du mouvement complexes. Le clinicien qui utilise généralement l'AQM aura par la suite une meilleure compréhension des troubles du mouvement. L'évaluation post-traitement est également un excellent *feedback* pour le clinicien qui lui permet d'apprendre de par ses réussites mais aussi de par ses erreurs. En dernier lieu, l'AQM est un excellent outil pour suivre l'évolution des troubles de la marche d'un patient.

Limites de l'analyse quantifiée de la marche

Bien que l'AQM soit indispensable pour comprendre les troubles de la marche, cet examen présente des limites qu'il est nécessaire de connaître lors de l'interprétation des résultats. Ces limites sont liées à l'enregistrement de la marche (précision des outils de mesures, position des marqueurs), aux modèles biomécaniques utilisés (difficulté à représenter la réalité et la complexité anatomiques), aux possibilités et à la variabilité de marche du patient (fatigabilité, marche avec aides techniques) et à l'interprétation des données (distinguer déviations primaires et compensations, influence de la vitesse de marche).

CONCLUSION

L'AQM est un examen médical indispensable pour la prise en charge des patients avec des troubles complexes de la marche. La qualité et la pertinence des résultats obtenus à partir de cet examen ne cessent d'augmenter grâce à l'amélioration des systèmes de mesures, des modèles biomécaniques, des outils de traitements des données et des procédures de standardisation mises en place (par exemple, www.cmlainc.org/). Il est probable que l'analyse quantifiée d'autres tâches motrices nécessaires aux activités de la vie quotidienne (motricité du membre supérieur, lever de chaise, montée et descente d'escaliers) se mette en place en clinique pour compléter et améliorer la compréhension du mouvement pathologique.

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêts en relation avec cet article.

Implications pratiques

- Devant des troubles complexes de la marche, une analyse quantifiée de la marche (AQM) est nécessaire pour identifier et comprendre ces troubles
- L'AQM améliore la prise de décision thérapeutique en relation avec les troubles de la marche
- La physiologie et la biomécanique de la marche normale et pathologique doivent faire partie de la formation des cliniciens traitant les troubles de la marche

Adresse

Drs Stéphane Armand,[1] Alice Bonnefoy-Mazure,[1] Geraldo de Coulon[3] et Pr Pierre Hoffmeyer[2]

[1]Laboratoire de cinésiologie Willy Taillard
[2]Département de chirurgie
[3]Département de pédiatrie
HUG, 1211 Genève 14
stephane.armand@hcuge.ch
alice.bonnefoymazure@hcuge.ch
geraldo.decoulon@hcuge.ch
pierre.hoffmeyer@hcuge.ch

Bibliographie

1 Bouisset S, Maton B. Muscles, posture et mouvement – bases et applications de la méthode électromyographique. Paris: Hermann, 1995.

2 * Simon SR. Quantification of human motion: Gait analysis-benefits and limitations to its application to clinical problems. J Biomech 2004;37:1869-80.

3 Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. J Electromyogr Kinesiol 2000;10:361-74.

4 * Gage JR, Schwartz MH, Koop SE, Novacheck TF. The identification and treatment of gait problems in cerebral palsy Oxford: John Wiley & Sons publication, 2009.

5 Davis RB. Reflections on clinical gait analysis. J Electromyogr Kinesiol 1997;7:251-7.

6 Gage JR, Novacheck TF. An update on the treatment of gait problems in cerebral palsy. J Pediatr Orthop B 2001;10:265-74.

7 ** Kirtley C. Clinical gait analysis: Theory and practice. Philadelphia: Churchill Livingstone-Elsevier, 2006.

8 Miller F, Browne E. Cerebral palsy. New York: Springer, 2005.

9 ** Perry J, Burnfield J. Gait Analysis: Normal and pathological function. Thorofare, NJ: Slack Incorporated, 2010.

10 Whittle M. Gait analysis: An introduction. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007.

11 * Baker R. Measuring walking: A handbook of clinical gait analysis. Londres: Mac Keith Press, 2013.

12 DeLuca PA, Davis RB, Ounpuu S, Rose S, Sirkin R. Alterations in surgical decision making in patients with cerebral palsy based on three-dimensional gait analysis. J Pediatr Orthop 1997;17:608-14.

13 Gough M, Shortland AP. Can clinical gait analysis guide the management of ambulant children with bilateral spastic cerebral palsy? J Pediatr Orthop 2008;28:879-83.

14 * Wren TA, Gorton GE, Ounpuu S, Tucker CA. Efficacy of clinical gait analysis: A systematic review. Gait Posture 2011;34:149-53.

15 Wren TA, Otsuka NY, Bowen RE, et al. Outcomes of lower extremity orthopedic surgery in ambulatory children with cerebral palsy with and without gait analysis: Results of a randomized controlled trial. Gait Posture 2013;38:236-41.

* **à lire**
** **à lire absolument**